

# L'emploi de modèles intersectoriels rectangulaires à coefficients modifiables pour simuler la propagation de la demande pour les fins de la planification du développement industriel

## A programming model of regional development of construction materials industry

I. Bergeron et T. Matuszewski

Volume 51, numéro 1, janvier–mars 1975

Quelques extensions des modèles intersectoriels rectangulaires à coefficients modifiables

URI : <https://id.erudit.org/iderudit/800604ar>

DOI : <https://doi.org/10.7202/800604ar>

[Aller au sommaire du numéro](#)

Éditeur(s)

HEC Montréal

ISSN

0001-771X (imprimé)

1710-3991 (numérique)

[Découvrir la revue](#)

Citer cet article

Bergeron, I. & Matuszewski, T. (1975). L'emploi de modèles intersectoriels rectangulaires à coefficients modifiables pour simuler la propagation de la demande pour les fins de la planification du développement industriel. *L'Actualité économique*, 51(1), 13–55. <https://doi.org/10.7202/800604ar>

### Résumé de l'article

This article presents a methodology which draws heavily on the philosophy of the Input-Output models and having been made completely operational has already been used on three occasions in two countries for the purposes of regional development of construction materials industries.

This methodology, or more precisely the strictly formalized part of it is an extension of that of rectangular Input-Output models with modifiable coefficients. Thus, not surprisingly, it resembles fairly closely the approach by simulation, although the proposed model contains some simple optimizing sub-models. While obviously normative, these sub-models play a descriptive rôle in the model as a whole.

It is to be noted that the approach presented here can be applied to only one sector of the economy at a time. What is more, although capable of various extensions it will never be more than an auxiliary instrument destined to be used jointly with other analysis and planning instruments.

It is vital for any valid regional analysis not to restrict its investigations exclusively to what goes on in the region directly concerned. Even if the objective of the analysis is limited to a single region, one must take into account the interrelations between regions within the national economy and with foreign economies: important feedbacks affecting the region concerned may on occasion travel far beyond its limits before returning. The type of a model presented here, thanks to a great number of interrelations of which it can systematically keep track may turn out to be particularly useful here.

# *L'emploi de modèles intersectoriels rectangulaires à coefficients modifiables pour simuler la propagation de la demande pour les fins de la planification du développement industriel\**

## 1. GÉNÉRALITÉS

L'outil, sinon principal, en tout cas le plus formalisé de l'approche proposée, est un modèle de simulation qui traduit, par une séquence de transformations, une demande pour des biens finals en demande pour l'ensemble des produits d'un secteur ou d'une industrie. Ces produits sont le plus souvent liés entre eux à la fois par des relations de complémentarité et de concurrence, relations qui interviennent aussi bien dans les usages des produits, que dans les ressources qui entrent dans leur fabrication.

Le modèle représente en fait la propagation de la demande à l'intérieur d'un secteur ou d'une industrie. Utilisé seul ou avec d'autres instruments d'analyse, il peut contribuer à la planification du secteur, surtout quand ce dernier a les caractéristiques suivantes :

- La production est constituée par un éventail étendu de biens différents.
- La demande pour ces biens se propage en stades successifs, ceux-ci correspondant aux étapes de transformation, ou de fabrication ou encore d'assemblage de ces biens.
- Au cours de ces étapes interviennent des relations de complémentarité, de substitution ou encore d'incompatibilité.

---

\* Version révisée d'une communication présentée lors du 41<sup>e</sup> Congrès de l'Association canadienne-française pour l'avancement des sciences tenu à l'Université Laval en mai 1974.

Bien que la conceptualisation et les premières applications pratiques du modèle présenté ici aient été faites dans le cadre de projets menés par Sorès Inc. à l'étranger, la préparation de la présente communication a bénéficié de l'assistance financière du ministère de l'Éducation du Québec.

Les auteurs ont grandement profité de l'aide très efficace de MM. Michel Hupé de Sorès Inc., et André Lemelin du Laboratoire d'économétrie de l'Université Laval, ainsi que des autres membres de ces deux organismes. L'assistance de M. Pierre Kirouac, également du Laboratoire d'économétrie de l'Université Laval, a été fort utile lors de la préparation de la version définitive du texte.

Les secteurs qui possèdent de telles caractéristiques sont évidemment complexes, et la tâche du planificateur, qui consiste à mettre en place des unités de production à même de satisfaire la demande future pour les produits de secteur, tout en s'efforçant de respecter certains critères d'efficience est particulièrement ardue.

Le type de secteur ou d'industrie dont il s'agit ici, est illustré par ceux auxquels ont été empruntés les exemples, et qui ont fait l'objet d'applications pratiques du modèle. Il s'agit du secteur des matériaux de construction et de celui des tubes et tuyaux. Pour le premier il faut transformer des programmes de construction de structures de divers types en demande pour les matériaux. L'objectif éventuel est d'aider à planifier le développement des industries qui produisent ces matériaux.

Dans le cas du second secteur, il s'agit de mettre en place l'appareil industriel permettant de satisfaire la demande future d'un pays pour toutes les applications des tubes et tuyaux, au moyen d'une gamme étendue et cohérente de produits.

Malgré quelques tentatives timides d'optimisations locales et un effort de prise en compte des incompatibilités internes de certaines solutions techniques, le modèle présenté ici demeure fondamentalement un modèle de type intersectoriel, c'est-à-dire essentiellement un modèle de la propagation de la demande et en même temps un cadre formel favorisant la collecte et l'organisation de données détaillées, souple au demeurant et se prêtant aisément aux mises à jour.

Comme tous les modèles de ce genre, sa vocation est de servir conjointement avec d'autres instruments d'analyse et de réflexion. La puissance des ordinateurs d'aujourd'hui fait que ces modèles, qui n'ont jamais prétendu être normatifs, deviennent capables au moyen de simulations nombreuses et rapides de rendre des services, auxiliaires certes, mais précieux, dans la préparation des décisions.

L'approche proposée suit la philosophie fondamentale des modèles intersectoriels qui part du principe que pour comprendre, et peut-être même prévoir, le comportement des systèmes complexes, il vaut mieux examiner en détail leurs structures internes plutôt que d'étudier globalement leurs trajectoires passées. Ceci semble s'avérer d'une importance particulière, dès qu'il s'agit de tenir compte de revirements brusques et de changements dans les ordres de grandeur des facteurs exogènes plutôt que de suivre les évolutions lentes et lisses où l'inertie des phénomènes économiques semble expliquer presque entièrement le comportement apparent du système étudié.

La communication met beaucoup d'accent sur les limitations de l'approche proposée, mais aussi sur ses extensions possibles — extensions du domaine d'application aussi bien qu'améliorations méthodologiques. On traite généralement d'un secteur industriel à la fois et on simplifie,

pour pouvoir le maîtriser, l'enchevêtrement presque inextricable des relations complexes que l'on découvre dès qu'on touche aux problèmes du développement industriel. Il en demeure néanmoins vrai que cette approche n'aboutira jamais à un instrument global de la planification et qu'elle n'ira jamais au-delà d'un rôle d'auxiliaire au service d'autres outils et surtout du jugement humain.

## 2. LE PROBLÈME

### 2.1 *Les caractéristiques de la demande et les facteurs qui l'influencent*

Le point de départ de l'approche proposée est constitué par une demande finale qui engendre, directement ou indirectement, une demande pour l'output du secteur ou de l'industrie étudiés. Par exemple, dans le cas de l'industrie des matériaux de construction, la demande sera exprimée sous forme de programmes de construction de structures de différents types (maisons unifamiliales, immeubles à appartements, écoles, hôpitaux, etc.). Dans le cas du secteur des tubes et tuyaux, la demande sera représentée par des taux annuels de construction d'édifices, de travaux publics, d'infrastructure et de produits manufacturés, dont la mise en œuvre ou la fabrication se traduit finalement en demande pour des produits tubulaires sous une forme quelconque.

En principe donc, la demande est exogène. On verra dans les exemples qui suivent qu'elle peut être définie d'une manière très détaillée. Bien entendu elle peut être spécifiée non seulement selon les catégories de biens qui la constituent, mais aussi dans l'espace et dans le temps. Dès le début on introduit l'hypothèse qu'il est possible de résumer la gamme finie certes, mais énorme, des biens finals produits par le secteur au moyen d'une nomenclature n'ayant qu'un nombre restreint — qui peut toutefois atteindre quelques centaines de catégories. On postule ainsi que les biens d'une catégorie donnée sont strictement équivalents entre eux du point de vue de l'utilisateur.

Tout en étant exogène, cette demande est assujettie à certaines complémentarités : dans le cas des programmes de construction, par exemple, tout développement industriel exige la mise en place de certains équipements scolaires, sanitaires, administratifs, etc. Il peut aussi y avoir une compétition ouverte entre les différents types de développement. Cependant, on suppose ici que les arbitrages que cela exige ont déjà été faits et que, par conséquent, le programme de construction constitue un ensemble de variables exogènes. Par contre, la concurrence cachée, découlant de ce que différents types de structures peuvent exiger les mêmes facteurs de production, ne sera mise en évidence qu'à l'aide du modèle. Il ne la résoudra pas automatiquement, se contentant d'identifier les goulots d'étranglement. En effet, le but du mo-

dèle, c'est-à-dire de la partie formalisée de l'approche proposée, est de quantifier la demande pour les facteurs de production : matériaux de construction ou tubes et tuyaux dans les exemples donnés ici. La confrontation de cette demande transformée avec l'offre constituée par les possibilités des fournisseurs locaux existants et les importations, apporte alors des éléments d'information nécessaires à l'élaboration d'un plan de développement du secteur concerné. On verra plus loin comment, par le choix des différentes options techniques, une même demande pour les biens finals peut se traduire par plusieurs demandes différentes pour les facteurs de production. Cependant, et ici réside la première difficulté sérieuse non résolue, il n'y a pas de rétroaction complète et formalisée de l'offre vers la demande. Et pourtant les indivisibilités et les seuils de rentabilité ne font que souligner l'importance énorme d'avoir un jour un modèle capable d'infléchir la demande en fonction de l'offre même si ce ne devait être qu'un modèle relevant de la statique comparative plutôt que véritablement dynamique. Nous sommes encore loin de pouvoir vraiment calculer s'il est avantageux, et dans quelle mesure, d'avoir des capacités excédentaires aujourd'hui pour faire des économies dans l'avenir.

Et si certaines capacités excédentaires aujourd'hui se justifient, alors pourquoi ne pas s'en servir tout de suite, c'est-à-dire modifier la demande qu'on avait au départ prise comme exogène ? Cependant, une telle fermeture de la grande boucle permettrait que les influences entre l'offre et la demande passent dans les deux sens. Bien que sans doute possible, la formalisation d'une telle fermeture a été écartée en faveur de l'introduction de relations nombreuses et complexes mais unilatérales. Bref, on a choisi de construire un modèle de simulation plutôt qu'un modèle d'optimisation, dont le caractère opérationnel ne semblait pouvoir être atteint qu'au prix d'une simplification tellement outrancière que ses résultats auraient été dépourvus de toute signification pratique.

## 2.2 *La structure de l'offre et ses déterminants*

On pourrait parler ici de l'offre à trois niveaux différents : l'offre des biens finals, l'offre des ressources ou des matériaux permettant de produire ces biens finals et, troisièmement, l'offre de la capacité de se servir des secondes pour produire les premiers. Si, pour fixer les idées, on considère le cas des matériaux de construction, le premier niveau correspondrait aux édifices existants, le deuxième aux possibilités de produire localement et/ou d'obtenir de l'extérieur les matériaux de construction, les stocks mis à part, et le troisième enfin, aux capacités des entreprises en construction y compris les bureaux d'architectes et d'ingénieurs.

C'est surtout le premier et le deuxième de ces niveaux qui nous ont occupés directement dans les applications passées du modèle : en effet celles-ci n'ont considéré que l'offre en biens finals et celle d'une partie des facteurs de production de ces biens, soit les matières consommables qui entrent dans la composition de ces biens finals : produits finis, demi-produits et ressources naturelles, ou qui dans certains cas servent à la production des biens finals sans y être incorporés tels que certains produits de bois employés dans la construction.

L'offre en biens finals, c'est-à-dire, pour donner un exemple, le stock existant en maisons, hôpitaux, écoles, etc., permet par confrontation avec la demande globale future, de déterminer les déficits nets prévus aux horizons qui nous intéressent. De la même façon l'offre en matières consommables, c'est-à-dire les quantités annuelles qui peuvent être produites localement, permet d'identifier, par confrontation avec les projections de demande fournies par le modèle, les déficits futurs, qu'il s'agira pour le planificateur de combler au moyen d'une stratégie de développement du secteur. Cette stratégie s'appuiera sur la création de nouvelles unités de production, le développement de nouvelles sources de matières premières, et éventuellement sur un complément d'importations indispensables.

L'étude de l'offre en biens finals ne pose pas de problèmes particuliers : il s'agit de recenser les stocks existants, en se servant d'une nomenclature correspondant à celle utilisée dans le modèle. Par exemple, dans une application du modèle au secteur des matériaux de construction, cette nomenclature couvre 60 types d'édifices différents.

L'étude de l'offre en ressources et matériaux prend comme point de départ la gamme des produits entrant dans les biens finals, classifiés au moyen d'une nomenclature adéquate (par exemple, dans le cas d'applications concrètes, 98 matériaux de construction, ou 236 types de tubes et tuyaux). La planification du développement industriel exige que l'on puisse exprimer les besoins et les disponibilités en quantités de matériaux aussi bien qu'en unités de production capables de fournir ces matériaux. Cette étape n'a pas été formalisée. L'examen direct des unités existantes par des ingénieurs industriels permet de déterminer leur capacité pour chacun des produits qu'ils fabriquent, toujours exprimée dans le cadre de la nomenclature du modèle et ainsi d'estimer l'offre qui sera par la suite confrontée avec la demande calculée par le modèle.

### *2.3 Les interactions entre l'offre et la demande et les options possibles*

La confrontation entre l'offre et la demande constitue une étape essentielle et délicate dans le processus de développement d'un secteur.

Dans cette confrontation interviennent deux types de problèmes : l'un concerne certaines orientations qu'il est possible de donner à la demande de façon à satisfaire certaines caractéristiques de l'offre. Et c'est ici qu'intervient l'outil formel utilisé dans l'approche, bien qu'il comporte des limitations importantes : le modèle, malgré tous les raffinements qu'on a pu lui apporter, appartient à la famille des modèles intersectoriels et partage donc à la fois leurs avantages et leurs faiblesses. Essentiellement un modèle de propagation de la demande, il est destiné à transmettre des influences, complexes certes, mais unilatérales. A quelques exceptions près, dont il est question dans la section 3 ci-dessous, et qui se bornent à la prise en compte de certaines incompatibilités techniques, les « retours en arrière » exigent l'intervention humaine après l'examen des résultats des calculs précédents. La confrontation de la demande avec l'offre se fait donc essentiellement de façon non formelle, au moyen de simulations répétées qui, elles, sont formalisées ; le processus est cependant facilité par un double mécanisme incorporé dans le modèle.

Le premier mécanisme correspond aux « grandes options techniques », dont on traite en détail plus loin. On part de l'hypothèse que certaines solutions techniques différentes aboutissent à des biens finals strictement équivalents du point de vue de l'utilisateur. On suppose par exemple que l'utilisateur reste indifférent entre les édifices de certaines catégories, qu'ils soient construits avec une ossature d'acier ou avec une ossature en béton armé. Ces « grandes options techniques » relèvent de celui qui fait fonctionner le modèle. Cependant, leur spécification pour tous les biens finals concernés peut s'avérer onéreuse et un modèle de simulation ne se justifie que s'il peut faire vite. Là où on ne spécifie aucune « grande option technique », le modèle choisit automatiquement la solution la plus couramment employée, étant donné, s'il y a lieu, l'emplacement et l'époque des travaux. Ces solutions courantes sont enregistrées dans la mémoire de l'ordinateur. Ce n'est qu'une illustration du rôle secondaire, mais tellement important, du modèle, qui est de servir de cadre pour la collecte et l'organisation des données.

En plus de ces « grandes options techniques », le modèle prévoit ce qu'il est convenu d'appeler les « petites options techniques ». Cette fois, on fait l'hypothèse qu'un même élément fonctionnel, ou, si on veut, une composante d'un bien final donné, peut être obtenu à partir de différentes compositions de matériaux. L'utilisateur a alors le choix d'imposer sa volonté pour minimiser ou pour maximiser l'emploi de tel ou tel matériau. On peut voir dans ces « petites options techniques » une tentative d'introduction d'optimisations locales. Encore une fois, le modèle retombe sur la composition la plus courante, si on ne lui impose pas d'options, ou encore si l'option imposée ne s'applique

pas, dans le cas où l'élément fonctionnel n'utilise pas le matériau sur lequel porte la « petite option technique ».

L'autre type de problème que l'on peut associer à la confrontation de l'offre et de la demande porte sur la réconciliation entre les déficits prévus pour un produit ou une famille de produits donnée, et les contraintes qui pèsent sur l'ampleur et la forme du développement industriel susceptible de combler ces déficits. Ces contraintes sont l'évolution technique et l'accès aux technologies, les délais de mise en place des nouvelles unités, et surtout, les seuils de rentabilité et donc les indivisibilités, cauchemars bien connus des économistes. On est donc amené à envisager plusieurs variantes de programmes d'investissement pour satisfaire une demande future prévue : par exemple une grande usine réalisée à brève échéance ou deux petites échelonnées dans le temps.

Dans l'état actuel des choses le modèle joue un rôle secondaire dans la construction de ces variantes et dans la comparaison de leurs mérites respectifs, par la richesse des renseignements qu'il fournit et par la rapidité avec laquelle ces renseignements peuvent être modifiés en réponse à des modifications externes. Le planificateur doit faire appel à d'autres instruments d'analyse et de réflexion, y compris le jugement subjectif.

### 3. LA LOGIQUE DE L'APPROCHE PROPOSÉE

#### 3.1 *Sous-optimisation et l'équipe homme/machine*

La partie formalisée de l'approche proposée est un modèle qui convertit la demande pour les biens finals en demande pour les facteurs. Ce n'est pas un modèle d'où sortiraient tout faits des plans « optimaux » de développement industriel. Avec un peu d'exagération on pourrait dire que c'est un outil de traitement de l'information bien plus qu'un modèle de planification.

Mais c'est avant tout un modèle de simulation. La rapidité de son fonctionnement et les présentations détaillées des résultats qu'il fournit à différents stades de calcul permettent de suivre pas à pas les étapes qui conduisent de la formulation de différents programmes de construction jusqu'aux demandes correspondantes pour des matériaux de construction et les matières premières.

Malgré, ou plutôt grâce à l'automatisation très poussée des calculs, un tel modèle de simulation accorde une grande importance aux appréciations subjectives. Il faut y voir un instrument de dialogue entre les responsables du développement du secteur étudié et la masse des renseignements détaillés, stockés dans l'ordinateur, et fréquemment mis à jour, qui expriment les réalités techniques. Dans une telle équipe homme/machine chacun des partenaires apporte ce qui lui est propre :



jugement et prise en compte des impondérables, d'une part, et précision, rapidité et capacité de mémoire, de l'autre.

### 3.2 Formalisation de la propagation de la demande

L'exemple réduit donné en annexe illustre en détail la démarche formelle. On se bornera ici à en indiquer les grandes lignes.

Conformément à une des hypothèses formulées plus haut, le modèle distingue un nombre fini de catégories de biens finals. Dans un des exemples dont on se sert ici chaque catégorie correspond à un plan-modèle d'édifice ayant certaines fins bien précises. Cependant il peut y avoir des variantes de plans-modèles : jusqu'à cinq pour chacun d'eux dans la version actuelle du modèle. Accroître ce nombre n'est qu'une question d'envergure, mais non pas de nature des calculs. Le choix entre ces variantes représente les « grandes options techniques » dont il était question plus haut.

Dans une des applications du modèle (la première application opérationnelle), le modèle convertit un programme de construction, formulé comme taux annuels de construction d'édifices de 60 plans-modèles différents, réparti entre quatre régions et échelonné sur plusieurs périodes, en demande pour 103 éléments fonctionnels et ensuite en demande pour 87 matériaux de construction. Une transformation supplémentaire calcule les demandes correspondantes pour onze matériaux dits « de base », c'est-à-dire pour chacune des onze matières premières.

Dans une autre application, on convertit une demande exprimée sous forme de taux annuels de réalisation d'édifices, de projets de travaux publics et d'infrastructure et de consommation de produits manufacturés pour 57 plans-modèles ou utilisateurs types, en demande pour 133 usages et ensuite en demande pour 236 types de tubes et de tuyaux, répartie sur 5 périodes.

C'est dans le souci de rendre le modèle plus souple et mieux adaptable aux changements dans l'espace et dans le temps, que l'on a décidé d'intercaler la notion d'« éléments fonctionnels » ou « d'usage » entre les variantes des plans-modèles, d'une part, et les matériaux de construction ou les différents types de tubes et tuyaux, de l'autre. On obtient ainsi un bien meilleur cadre pour l'organisation des données et pour leurs mises à jour, tout en rendant les calculs plus efficaces.

En général, toute la demande correspondant à un plan-modèle donné n'appartiendra pas à une même variante, c'est-à-dire à une même « grande option technique », quoiqu'il puisse en être ainsi dans certains cas, mais elle se répartira dans des proportions variables entre différentes variantes selon la région et/ou la période.

Après cette première transformation, le programme de construction apparaît comme un ensemble de listes, une pour chaque période et pour

chaque région, des taux de construction annuels d'édifices dont on connaît les caractéristiques architecturales détaillées.

L'étape suivante traduit, dans l'exemple choisi, ces listes des taux de construction annuels pour les édifices en taux de demande annuels pour chacun des 103 éléments fonctionnels. La transformation se fait à l'aide de coefficients établis à partir de plans architecturaux, d'une nomenclature standard et d'une liste uniforme d'unités de mesure assurant la comparabilité et l'additivité des résultats.

La troisième étape traduit les listes des taux de demande annuels pour les éléments fonctionnels en listes de demande annuelle pour les 98 matériaux de construction, y compris les 11 matériaux « de base », pour chaque période et chaque région. Encore une fois, on se sert d'une nomenclature standard et d'une liste uniforme d'unités de mesure. La quatrième conversion, celle qui permet de calculer les demandes pour les matériaux « de base », quoique logiquement distincte et faisant intervenir des renseignements de type différent, est en effet greffée sur la troisième, de sorte que ces deux groupes de calculs se font en même temps.

### 3.3 *La prise en compte formelle de certaines options et des incompatibilités techniques*

Il a déjà été question des « grandes options techniques » qui reflètent les choix dont dispose l'utilisateur du modèle quant à l'emploi de diverses variantes de plans-modèles. La formalisation de cette démarche est relativement simple. Deux points cependant sont à souligner. En premier lieu, l'exercice de ces options se fait à partir de jugements subjectifs. Si on veut, la spécification de différentes variantes ne représente en effet qu'un élargissement de la gamme des plans-modèles. Il n'y a, du moins dans la version actuelle du modèle, aucun dispositif automatique pour l'exercice de ces options. On se souviendra cependant que chaque fois que l'utilisateur s'abstient d'exercer les options qui lui sont ouvertes, le modèle adopte automatiquement la ou les variantes les plus courantes. On trouve des dispositifs analogues dans des modèles récents de simulation. On retient un niveau de détail très poussé sans nécessairement encombrer l'utilisateur du modèle de toutes les corvées fastidieuses qu'aurait exigées une spécification complète de tous les problèmes qu'il soumet au modèle. S'il le veut, l'utilisateur peut imposer sa volonté ; sinon le modèle se chargera de compléter les détails.

Cependant, la possibilité pour l'utilisateur d'imposer sa volonté est assujettie à la contrainte de cohérence : on ne peut pas admettre d'incompatibilités internes dans les ensembles de choix imposés par l'utilisateur.

Pour ce qui est des « grandes options techniques », la version actuelle du modèle ne prévoit pas de vérifications automatiques : l'incohérence des choix de l'utilisateur se manifestera dans les résultats des simulations. Et le test de cohérence relèvera ici du jugement humain et non pas de critères incorporés dans l'agencement des calculs. De toute façon il ne peut pas s'agir ici d'incohérences techniques ou logiques mais plutôt de contradictions internes dans la structure de la demande pour les biens finals formulée en termes de variantes, contradictions relatives aux appréciations des usagers.

Il n'en est pas de même pour ce qui est des « petites options techniques ». Elles interviennent au stade de la troisième transformation mentionnée plus haut.

Cette troisième transformation se fait à l'aide de coefficients qui expriment les compositions en matériaux des éléments fonctionnels. Un élément fonctionnel peut avoir plusieurs compositions différentes en matériaux. Dans un des exemples dont on se sert ici, celui qui porte sur l'industrie des matériaux de construction, l'élément fonctionnel « cloisonnement » peut être mis en œuvre à partir de briques et de mortier à maçonnerie, ou de panneaux d'amiante-ciment montés sur une ossature d'acier, ou encore de parpaings et de mortier, etc. On admet que le nombre de ces différentes compositions peut atteindre jusqu'à 26 pour un élément fonctionnel donné. L'utilisateur du modèle est libre d'imposer ses choix entre les différentes compositions possibles. Il le fait en spécifiant la maximisation ou la minimisation de l'emploi d'un matériau donné, qui peut d'ailleurs être un matériau dit « de base ». Le modèle choisit alors en conséquence la composition de chaque élément fonctionnel. Si l'on veut, on peut imposer un critère de maximisation ou de minimisation différent pour chaque période et pour chaque région. Par exemple, on peut maximiser l'emploi de l'aluminium à partir seulement d'une certaine année, quand le volume de construction deviendra assez important pour justifier la prise en considération d'une source locale d'approvisionnement. En faisant plusieurs calculs de ce genre avec des choix de maximisation et de minimisation différents, on arrive à établir les bornes inférieures et supérieures sur les taux des demandes pour les divers matériaux de construction découlant d'un programme de construction donné.

Il est à noter que, si on ne spécifie aucune maximisation ou minimisation, ou encore si un élément fonctionnel donné ne peut jamais contenir le matériau dont il s'agit de maximiser ou de minimiser l'utilisation, le modèle choisit automatiquement la composition « typique » : c'est-à-dire la composition la plus courante pour cet élément dans la variante de plan-modèle considérée. Il est à noter que la composition « typique » d'un élément donné peut ne pas être la même dans toutes les variantes de plans-modèles où cet élément apparaît.

Ici, deux remarques supplémentaires s'imposent. La première a trait à la distinction entre les matériaux dits « de base » et les autres matériaux. Un matériau « de base » est celui qui entre dans la fabrication des autres matériaux. Ainsi le ciment entre dans la fabrication des parpaings et le cuivre peut entrer dans la fabrication de certains tuyaux. On peut faire le choix des compositions des éléments fonctionnels en maximisant ou en minimisant l'emploi de n'importe quel matériau, qu'il soit de base ou non. Il est clair, cependant, que la maximisation de l'emploi du ciment, par exemple, entraînera en général l'intensification de l'emploi des matériaux comme les parpaings, qui ont un contenu élevé en ciment. Dans certains cas cependant, et en apparence assez paradoxalement, l'emploi de certains matériaux à fort contenu du matériau de base en question baissera à mesure que les compositions de certains éléments fonctionnels où ils figurent cèdent la place aux autres faisant appel à plusieurs matériaux dont le contenu global du matériau de base en question est encore plus élevé. Les relations de substitution et de complémentarité s'avèrent souvent très complexes si on les considère dans leur ensemble. La distinction que l'on fait ici, entre les matériaux de base et les autres matériaux, reflète l'importance qu'on attache à l'examen des possibilités d'implantation industrielle aux différents stades de fabrication, et aussi à la question des disponibilités en matières premières.

La seconde remarque concerne un autre problème important auquel on a dû faire face dans l'établissement de la logique du modèle et partant, dans l'agencement des calculs. C'est le problème des incompatibilités, très fréquentes entre certaines compositions de certains éléments fonctionnels, d'une part, et certaines variantes de plans-modèles de l'autre. Par exemple, l'élément fonctionnel « remplissage entre ossature », peut être réalisé à partir de 26 combinaisons différentes de matériaux, parmi lesquelles un certain nombre représente la solution « mur-rideau ». Il est clair que ces combinaisons « mur-rideau » sont incompatibles avec toutes les variantes du plan-modèle « Logement unifamilial », le « mur-rideau » n'étant approprié que dans des bâtiments plus importants. Un dispositif spécial incorporé dans le modèle permet de tenir compte de ces incompatibilités. La procédure de maximisation ou de minimisation respecte ces incompatibilités et passe automatiquement au deuxième (troisième, quatrième, etc., jusqu'au vingt-sixième) choix, si elle se heurte à l'incompatibilité de la combinaison choisie en premier lieu, avec la variante du plan-modèle où l'élément concerné doit prendre place. Il semble que le mécanisme des « petites options techniques », qui évite les incompatibilités, ou si on veut, les contradictions internes de certaines solutions, dont il est d'ailleurs question plus en détail dans la section qui suit, est susceptible de certaines généralisations prometteuses. Au fait, chaque fois qu'un des phénomènes

évoqués plus haut se présente, le modèle doit faire l'optimisation locale sujette à des contraintes. Dans la version actuelle du modèle, ces problèmes sont très simples : la fonction-objectif n'a qu'un seul argument et les contraintes ne font qu'interdire la coexistence de certaines variables dans les solutions optimales. On pourrait envisager la présence de sous-modèles normatifs plus complexes à l'intérieur du modèle descriptif. Une fois accepté le principe et développée la technique de la modification des coefficients d'un modèle de la propagation de la demande au cours de calculs et en fonction des résultats intermédiaires de ces calculs, la voie est ouverte vers l'incorporation de sous-modèles d'optimisation au sein de ces modèles pour mieux cerner le comportement des agents économiques.

En résumé, la prise en compte des options permet au modèle de calculer rapidement les demandes pour les matériaux de construction découlant des programmes de construction qu'on lui propose, tout en respectant les choix qu'on pourrait lui imposer, et cela à deux niveaux différents, et tout en respectant les conditions objectives de l'architecture et des propriétés des matériaux.

#### 4. LA PORTÉE, LES LIMITATIONS ET LES EXTENSIONS POSSIBLES

##### 4.1 *Remarques générales*

Comme on l'a mentionné plus haut, le présent article ne prétend aucunement que l'approche proposée puisse aboutir à la construction de modèles pouvant confectionner automatiquement les plans « optimaux » de développement industriel. Cette approche doit être déclarée d'emblée comme ne fournissant que des instruments auxiliaires.

Il est à noter qu'au lieu d'adopter une approche globale, on commence par une analyse détaillée d'un secteur relativement étroit. Cette analyse s'appuie cependant sur des renseignements techniques solides. Sa portée ne dépasse pas l'étendue de la base de données. Mais, en contrepartie, l'approche proposée ici guide la construction d'une telle base de données.

Il n'est pas difficile de concevoir les extensions de cette approche qui se traduiraient par l'inclusion de plusieurs autres secteurs de l'économie ou encore par l'élargissement des frontières du secteur choisi. Par contre, c'est la prise en compte systématique des influences venant du côté de l'offre qui fait défaut pour le moment et qui constitue ainsi une des limitations principales de l'approche proposée. A quelques exceptions près, que nous avons décrites, et qui sont d'importance en somme assez secondaire, les rétroactions allant de l'offre à la demande exigent encore l'intervention humaine et le jugement subjectif. C'est une des conséquences de la voie choisie qui est celle de la simulation plutôt que celle de l'optimisation.

Une fois abandonnée la quête d'une démarche conduisant automatiquement à des solutions rigoureusement optimales, la souplesse de l'approche adoptée peut être exploitée à fond. En plus de pouvoir mettre à jour fréquemment la base de données existantes, on devient capable d'absorber et de mettre en valeur des renseignements provenant de sources diverses, souvent fragmentaires et qui peuvent se présenter dans des formats inhabituels.

Si on opte pour la simulation, avec ses servitudes inévitables, qui sont le recours aux interventions humaines et l'accès aux moyens puissants de calcul automatique, la voie est ouverte vers la prise en compte de relations plus complexes que celles décrites ici : relations non linéaires et contraintes de diverses espèces cessent d'être un obstacle insurmontable. D'ailleurs, un des buts principaux de cette communication est de présenter un exemple, très simple, mais au moins opérationnel, d'un mariage pour ainsi dire des démarches normatives et descriptives et, en particulier, de sous-modèles d'optimisation au service de grands modèles de simulation.

Ce n'est pas l'étroitesse du domaine d'application, ni la simplicité des relations formelles de l'approche proposée ici qui constituent ses limitations les plus difficiles à franchir. Les vrais obstacles, même si on a déjà réussi à y faire quelques brèches d'importance mineure, sont liés d'abord à la prise en compte systématique des rétroactions entre l'offre et la demande dont il a déjà été question à plusieurs reprises, et ensuite au problème d'une planification véritablement dynamique. Il ne suffit pas d'introduire plusieurs périodes et d'indicer en conséquence les diverses variables du modèle. L'optimisation dans le temps des grands systèmes détaillés n'est encore abordable par aucune démarche automatique et rigoureuse. Tout ce qu'il y a de disponible, si on écarte les simplifications grossières relevant du domaine de la récréation intellectuelle plutôt que de l'emploi opérationnel de nos connaissances, semble être l'approche par simulation, qui entraîne avec elle les servitudes dont il était question tantôt, et qui ne débouchera jamais que sur des solutions sous-optimales.

#### *4.2 Cadre pour la collecte et l'organisation des données*

On ne peut plus aujourd'hui se permettre de dissocier l'activité de la collecte et de l'organisation des données des activités de la conceptualisation d'un instrument d'analyse et du développement de la programmation correspondante. Si elles doivent servir à des fins opérationnelles, il faut mener ces tâches en parallèle plutôt que séquentiellement, et il faut, en plus, maintenir des liens constants et solides entre elles. Le facteur temps joue un rôle particulier par rapport au genre de modèle préconisé ici. On se souviendra que les instruments qui s'ins-

pirent des modèles intersectoriels trouvent leur vraie justification dans le fait qu'ils sont utilisés pour étudier les changements brusques dans l'ampleur et aussi dans la configuration de divers facteurs ou de groupes de phénomènes économiques. Et cela assume une importance particulière s'il s'agit de préparer les éléments des décisions visant le développement économique d'un secteur ou d'une région.

Comme il en est davantage question dans la sous-section qui suit, ce n'est pas tellement l'uniformité que la comparabilité des données chiffrées que l'on vise. Les moyens modernes de calcul nous permettent de faire des conversions, des changements d'unités, bref, de manipuler des masses de données sinon hétéroclites, du moins multiformes. Un des grands problèmes de l'exécution des travaux pratiques selon l'approche proposée ici est la création d'une base de données appropriée. Malgré toute la souplesse du modèle proposé, on ne peut se soustraire à certaines contraintes de cohérence interne et à la nécessité de couvrir le plus complètement possible le domaine concerné.

Comme tout modèle quantitatif, à la fois grand et détaillé, celui présenté ici peut rendre des services secondaires en identifiant les lacunes et en suggérant des priorités concernant les renseignements nécessaires à la préparation des plans de développement.

A part ces services secondaires, le modèle est également capable de fournir, comme sous-produit important, certaines indications pouvant servir à l'établissement des normes de matériaux de construction et d'éléments fonctionnels.

Finalement, on pourrait difficilement surestimer l'importance de l'effort et l'ingéniosité qu'exigent la collecte et l'organisation des renseignements nécessaires pour le modèle décrit ici. De par sa nature même, il ne se contente pas d'enregistrer les trajectoires passées des phénomènes dont il traite : il s'efforce de les démembrer et d'identifier, mesurer et saisir les interactions complexes de leurs mécanismes détaillés. Ce travail ne peut se faire qu'en équipe, et de plus ce qu'il faut c'est une équipe multidisciplinaire : économètres, informaticiens, ingénieurs, architectes. Lui donner une appellation à la mode n'élimine pas les difficultés énormes qu'entraîne le bon fonctionnement d'une telle équipe.

#### 4.3 *Souplesse de l'approche proposée*

Un examen, même rapide, des grandes lignes de l'approche proposée, et de la structure du modèle de simulation qui en constitue la partie formalisée, permet de se rendre compte de la souplesse de cette approche. Elle se manifeste à plusieurs niveaux.

Il a déjà été question des « grandes options techniques » et des « petites options techniques », ainsi que de la prise en compte de cer-

taines incompatibilités, c'est-à-dire des incohérences internes de certaines solutions techniques. L'exemple réduit présenté dans l'Annexe illustre, entre autres, la souplesse de la formulation des problèmes et de la spécification des variables exogènes.

On a également évoqué une caractéristique secondaire du modèle qui s'avère d'une importance considérable lors de son utilisation comme instrument de simulation : sa capacité d'accepter des instructions incomplètes et d'en combler les lacunes en adoptant des spécifications typiques. On contourne ainsi un des obstacles principaux auxquels se heurte l'emploi des grands modèles détaillés et on met aussi en évidence le service que le modèle peut rendre comme cadre pour la collecte et l'organisation des données.

La souplesse du modèle facilite également l'extension et/ou les modifications des classifications employées : liste des plans-modèles, de leurs variantes, des éléments fonctionnels et, finalement, des matériaux de construction eux-mêmes. En effet, on peut formellement assimiler à ces concepts des mesures d'entités dont la nature est fort différente. Ainsi, dans l'exemple du secteur de la construction, d'autres facteurs de production, tels que main-d'œuvre, équipement et machinerie, etc., peuvent être inclus parmi les « matériaux de construction ». A l'autre extrémité du modèle, certains équipements collectifs et même certains besoins qui ne correspondent pas à la construction proprement dite d'édifices (tels que l'exportation ou encore la constitution des stocks) peuvent être traités comme plans-modèles.

La dernière particularité de l'approche proposée ici, qui n'est sûrement pas la moins importante, concerne son emploi pour traiter des problèmes qui s'échelonnent sur plusieurs périodes. On peut en effet modifier la technologie des périodes futures, à condition évidemment que son évolution soit supposée connue en déclenchant des modifications automatiques des éléments de la base des données pour les périodes concernées. Ces modifications ne seront pas nécessairement les mêmes pour toutes les régions.

#### *4.4 Extensions du domaine d'application*

Il est évident que l'approche décrite ici, dont les applications pratiques ont porté jusqu'à présent sur deux secteurs, peut s'appliquer avec profit aux secteurs dont les caractéristiques ont été évoquées au début de ce texte (éventail étendu des productions, stades successifs de transformation, relations de complémentarité, de substitution et d'incompatibilité).

Mais ce dont il est surtout question ici c'est l'extension du domaine d'application à l'intérieur du secteur original. Si l'on s'en tient à l'exemple des matériaux de construction, on voudrait pouvoir inclure les



sources de demandes autres que la construction d'édifices proprement dite. Cela veut dire, d'une part, la mise en place de certains équipements collectifs, tels que les rues et les trottoirs, les égouts, etc., et, de l'autre, de certains types de construction plus ou moins uniques, tels que les barrages ou les complexes industriels.

Sans prétendre que l'approche puisse se prêter à des extensions faciles et sans limites, on peut envisager trois types de démarche permettant d'étendre son domaine d'application à l'intérieur d'un secteur donné. En premier lieu, on peut étendre le concept de plan-modèle à celui, plus général, d'utilisateur-type. Ceci est déjà fait dans l'application du modèle au secteur des tuyaux. Le plan-modèle constitue un exemple typique de structure telle une maison unifamiliale, une école, un édifice à bureaux. L'utilisateur-type correspond plutôt à un système complexe qu'il est malaisé de diviser en unités discrètes : un réseau routier, un réseau de distribution de gaz, un système d'irrigation, etc. On divise alors le système en sous-systèmes et en composantes, et on en définit des portions typiques auxquelles on associe une dimension précise : un kilomètre d'adduction d'eau, un hectare d'irrigation, etc. D'autre part, certains projets de construction, les complexes industriels, en apparence uniques, peuvent se prêter à une décomposition en plans-modèles qui ne correspondraient plus aux édifices mais à certaines parties standard des édifices industriels. En second lieu, on peut étendre les plans-modèles eux-mêmes, chaque fois qu'une complémentarité peut être prise pour acquise. Ainsi, dans la plupart des cas, une maison doit être raccordée au système d'égouts et à l'aqueduc — rien n'empêche d'inclure dans les besoins en éléments fonctionnels des plans-modèles en question, les raccordements dont il s'agit.

Finalement, dans certains cas où les sources de la demande pour les biens du secteur qui nous intéresse ne se prêtent absolument pas à l'approche modulaire adoptée ici, on n'a d'autre choix que de compléter par des études spéciales les estimations de la demande obtenues à l'aide du modèle.

On peut également envisager des extensions qui feraient déborder l'utilisation du modèle du cadre d'un secteur donné. Par exemple les besoins en services de transport qui découleraient d'une demande pour les produits d'un secteur, pourraient être pris en compte, sans difficultés conceptuelles.

#### 4.5 *Prise en compte des relations plus complexes*

Il est évident que, malgré la présence de divers dispositifs parfois complexes, les seules relations que le modèle est capable de manipuler sont des relations de proportionnalité, ou plutôt de proportionnalité locale. Le modèle Leontief et la programmation linéaire ont montré la

richesse des applications, sans parler de l'intérêt théorique des modèles qui ne font intervenir que ce genre de relations. L'approche emprunte beaucoup à la méthodologie, développée au Canada, des modèles intersectoriels rectangulaires à coefficients modifiables. Elle emploie des optimisations locales et permet de manipuler des données très détaillées. En travaillant à un niveau très fin de détail, elle contourne dans une large mesure les obstacles que lui impose la simplicité des relations élémentaires dont elle se sert. A part l'emploi des colonnes de rechange dont il est abondamment question dans cet article, l'introduction de biens ou d'activités (matériaux ou éléments fonctionnels) fictifs, en d'autres termes l'augmentation des dimensions des espaces géométriques dans lesquels on fait les analyses, peut souvent accroître considérablement la puissance de la technique employée tout en préservant l'homogénéité formelle, sinon la simplicité de sa formulation mathématique.

Il n'en demeure pas moins vrai que l'estimation de la demande pour les biens produits par un secteur et encore davantage l'étude des interactions entre la demande et l'offre exige que l'on prenne en compte, tôt ou tard, des relations plus complexes que celles dont on traite ici.

Evidemment, il n'est pas possible de prévoir les résultats de recherches futures. Cependant, on peut se permettre quelques remarques quant à l'introduction éventuelle des relations plus complexes.

En premier lieu, puisqu'il ne s'agit pas d'un modèle d'optimisation, l'introduction de certaines indivisibilités et de productions conjointes ne devrait pas poser de difficultés insurmontables, même si on veut garder, ou même étendre, le rôle des optimisations locales. La programmation linéaire partiellement en nombres entiers est devenue parfaitement opérationnelle, même pour des problèmes de taille considérable. Cependant, une prise en compte globale des indivisibilités, des productions conjointes ou généralement des contraintes conditionnelles risque de donner lieu rapidement à des problèmes combinatoires de dimensions monstrueuses. Le seul espoir semble être d'exploiter les caractéristiques particulières de chaque groupe de problèmes et, sans doute, de se résigner à avoir des solutions sous-optimales.

Bref, les difficultés auxquelles on pourrait s'attendre ici, viendraient surtout du côté de la disponibilité des données et du calcul numérique. Le vrai problème auquel on n'apportera sans doute pas de solution opérationnelle dans un avenir prévisible, est la prise en compte formelle des influences allant du côté de l'offre vers la demande tout en gardant la formalisation des influences allant dans le sens contraire. Ce n'est pas la présence de relations complexes, mais classiques, qui constitue une barrière qui paraît, pour le moment au moins infranchissable, mais la prise en compte d'influences venant de plusieurs directions à la fois, ou, si on veut, le vieux problème de causalité.

#### 4.6 *Problèmes d'une planification véritablement dynamique*

Comme cela a été dit plus haut, l'approche présentée ici se prête fort bien à l'évolution des besoins et de la technologie dans le temps, à condition qu'ils demeurent exogènes. La souplesse du modèle et en particulier sa façon d'organiser et de stocker sa base des données, permettent une gamme très étendue de modifications prédéterminées dans la structure du secteur que l'on étudie. Ceci est cependant loin d'être une véritable planification dynamique.

Le vrai du problème ici est de pouvoir établir des relations endogènes entre les périodes successives, ce que le modèle dans son état de développement actuel ne fait en aucune façon. Il est clair cependant que les demandes pour les produits d'un secteur à des horizons successifs, à la fois quant à leur volume et quant à leur composition, sont interdépendants. Ces interdépendances dans le temps reflètent en gros soit des phénomènes de substitution : une forte production une année peut entraîner une production plus faible l'année suivante, soit des phénomènes de complémentarité : une demande pour certains produits du secteur à une période donnée, entraîne une demande pour d'autres produits du secteur à une autre période, antérieure ou postérieure. Ainsi, dans le secteur de la construction, une forte demande pour les matériaux de finition, devra évidemment être précédée par une forte demande pour les matériaux de gros œuvre.

On pourrait essayer d'introduire les diverses méthodes d'optimisation formelle dans le temps qui fonctionnent déjà aujourd'hui, mais qui, sauf erreur, ne sont pas encore opérationnelles face aux problèmes de grande envergure. L'introduction de ces méthodes pourrait prendre la forme d'un ou de plusieurs sous-modèles rattachés au modèle principal, ou encore d'un modèle auxiliaire dont le rôle serait d'indiquer des ordres de grandeur, des directions probables de l'évolution des phénomènes étudiés ou peut-être même des bornes encadrant cette évolution. Il est clair cependant que de très fortes limitations s'opposeront à cet effort de perfectionnement : les procédures rigoureuses de la programmation dynamique, et plus encore la théorie de la commande optimale ne pourraient être appliquées brutalement au problème étant donné ses dimensions et sa complexité. De plus, une telle démarche pourrait en fait déprécier l'approche en sacrifiant le réalisme en faveur d'une élégance mathématique inutile. Cependant comme cela a été dit plus haut certains des concepts fondamentaux de la programmation dynamique et de la commande optimale pourraient-ils peut-être inspirer certaines procédures formelles, mais sous-optimales, dont l'introduction dans l'approche discutée ici permettrait de rendre plus systématique le traitement des aspects dynamiques du problème.

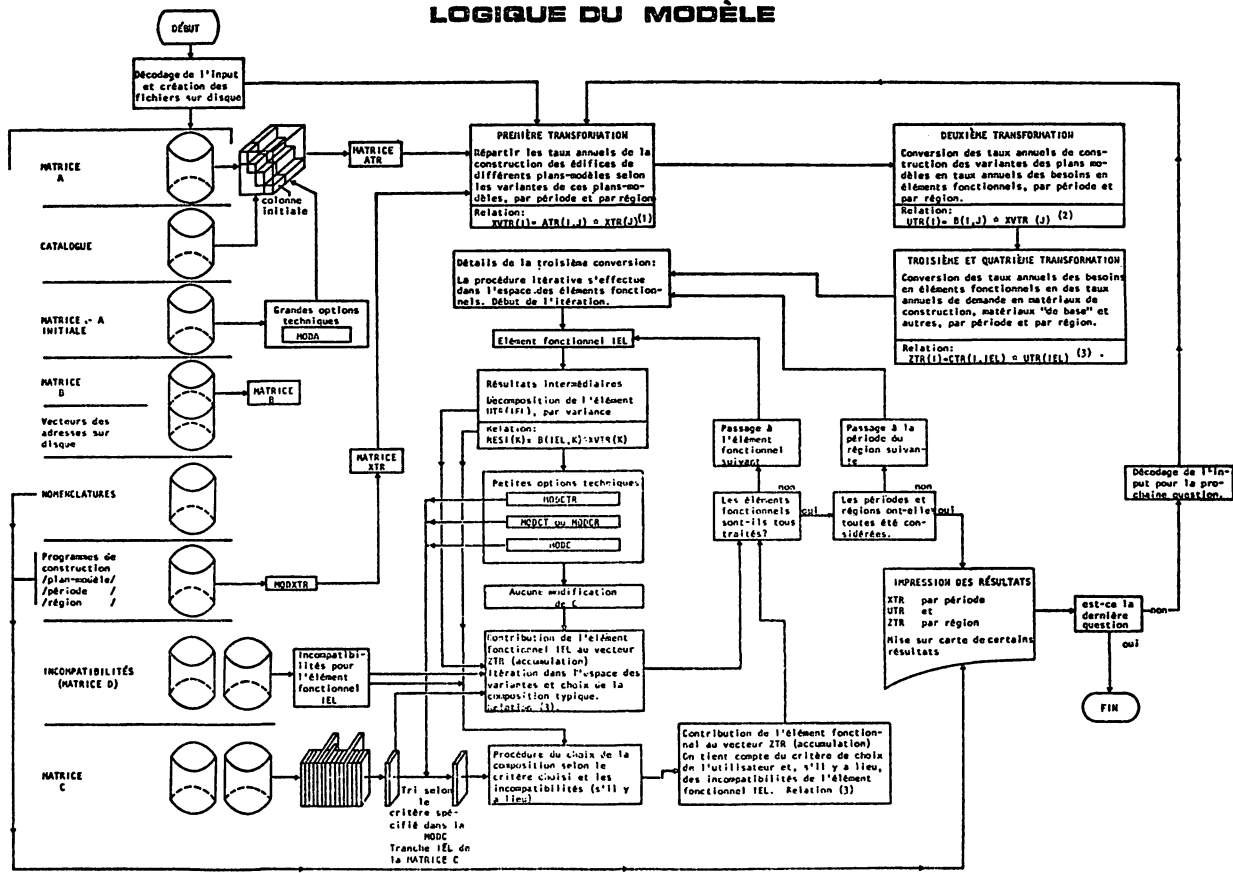
En guise de conclusion, on ne peut que formuler une opinion assez pessimiste sur l'éventualité de réaliser des développements spectaculaires dans la direction évoquée ici. Il semble que, pour longtemps encore, toute approche vraiment opérationnelle aux problèmes de la planification du développement d'un secteur devra se contenter de sous-optimisation et continuera de se faire principalement par simulation, l'intervention du jugement humain demeurant essentielle à plusieurs étapes critiques de l'analyse.

I. BERGERON,  
*Sorès Inc., Montréal,*  
et  
T. MATUSZEWSKI,  
*Université Laval.*

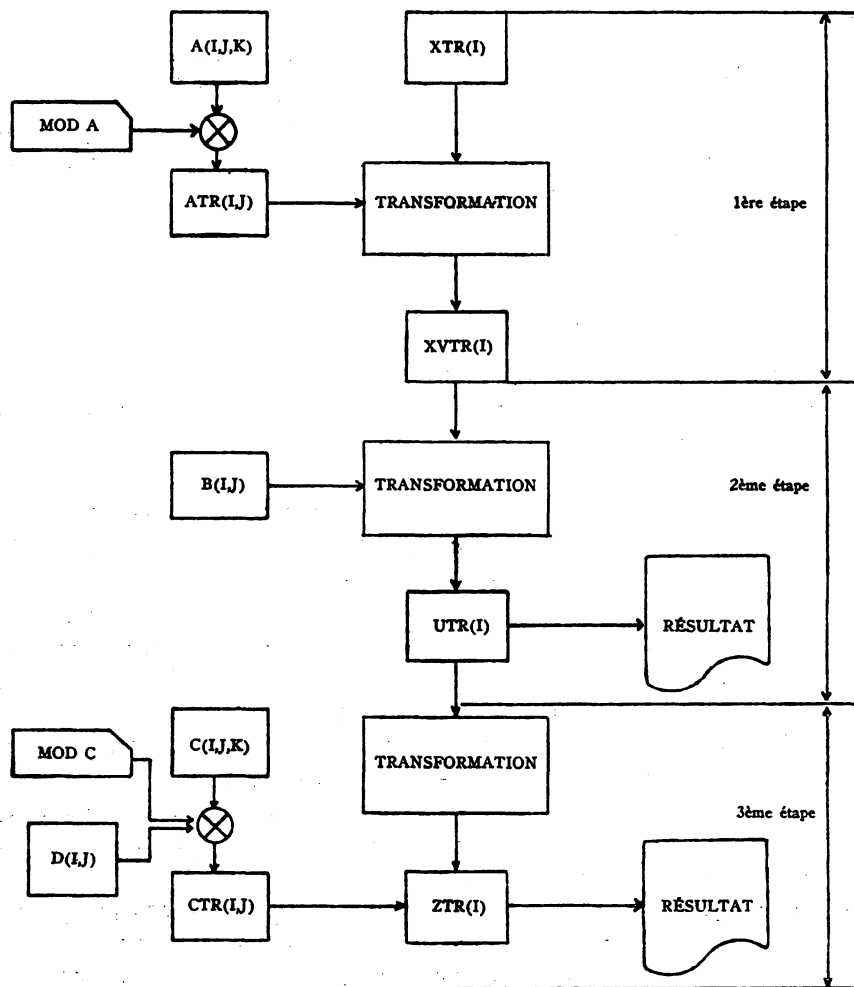
## ANNEXE

(voir pp. 33 à 54)

# LOGIQUE DU MODÈLE



## ANNEXE : EXEMPLE RÉDUIT



Construction d'une matrice à 2 dimensions à partir d'une matrice-mère à 3 dimensions.

## SÉQUENCE DES CALCULS

### 1. SPÉCIFICATION DU PROBLÈME

L'exemple numérique réduit illustre l'approche proposée. Cet exemple mettra en relief, notamment, les caractéristiques opératoires du modèle, sa souplesse d'utilisation et, finalement, le caractère « conditionnel » des résultats obtenus, caractéristique propre à tout modèle de simulation.

L'exemple choisi concerne la demande de 5 matériaux de construction dans 2 régions et pour 2 périodes (années). Cette demande sera générée par la construction de différents édifices. Nous avons retenu 4 plans-modèles d'édifices pouvant être mis en œuvre, c'est-à-dire construits selon plusieurs variantes :

plan-modèle 1 : 2 variantes

plan-modèle 2 : 5 variantes

plan-modèle 3 : 1 variante

plan-modèle 4 : 2 variantes.

Il y a 9 éléments fonctionnels.

La procédure décrite ici fait intervenir quatre groupes de vecteurs principaux : chaque groupe de vecteurs comprend un vecteur pour chaque paire période-région : TR.

XTR(I) = programme de construction défini en termes des taux annuels de construction d'édifices de chaque plan-modèle ( $I = 1, \dots, 4$ ) ;  $T = 1, 2$  ;  $R = 1, 2$ .

XVTR(I) = programme de construction ventilé selon les variantes ( $I = 1, \dots, 10$ ) des plans-modèles ;  $T = 1, 2$  ;  $R = 1, 2$ .

UTR(I) = taux annuels des besoins en éléments fonctionnels ( $I = 1, \dots, 9$ ) ;  $T = 1, 2$  ;  $R = 1, 2$ .

ZTR(I) = taux annuels des besoins en matériaux de construction ( $I = 1, \dots, 5$ ) ;  $T = 1, 2$  ;  $R = 1, 2$ .

Une séquence de trois transformations permet de passer des vecteurs du premier groupe à ceux du dernier groupe. Ces transformations font intervenir les matrices suivantes :

ATR(I,J) = matrices de ventilation des plans-modèles ( $J = 1, \dots, 4$ ) en variantes ( $I = 1, \dots, 10$ ), pour chaque période ( $T = 1, 2$ ) et chaque région ( $R = 1, 2$ ). De toute évidence, les matrices ATR(I,J) sont bloc-diagonales, une variante ne pouvant appartenir qu'à un seul plan-modèle.

B(I,J) = matrice des besoins en éléments fonctionnels ( $I = 1, \dots, 9$ ) pour chaque variante ( $J = 1, \dots, 10$ ).

CTR(I,J) = matrices de la composition en matériaux de construction ( $I = 1, \dots, 5$ ) de chacun des éléments fonctionnels ( $J = 1, \dots, 9$ ) pour chaque période ( $T = 1, 2$ ) et chaque région ( $R = 1, 2$ ).

- $A(I,J,K)$  = matrice des ventilations possibles ( $K = 1, \dots, 5$ ) de chaque plan-modèle ( $J = 1, \dots, 4$ ) en variantes ( $I = 1, \dots, 10$ ). La matrice  $A(I,J,K)$  est la matrice-mère à partir de laquelle sont construites les matrices  $ATR(I,J)$ .
- $C(I,J,K)$  = matrice des compositions possibles ( $K = 1, \dots, 5$ ) de chacun des éléments fonctionnels ( $J = 1, \dots, 9$ ) en matériaux de construction ( $I = 1, \dots, 5$ ). La matrice  $C(I,J,K)$  est une matrice-mère à partir de laquelle sont construites les matrices  $CTR(I,J)$ .
- $D(I,J)$  = matrice ternaire des incompatibilités. Chaque ligne de cette matrice est associée à une variante de plan-modèle. A chaque élément fonctionnel est associé un groupe de lignes, donc de variantes de plans-modèles. Un tel groupe comprendra autant de lignes qu'il existe de variantes utilisant l'élément fonctionnel associé au groupe concerné. Les colonnes de cette matrice représentent les compositions possibles de l'élément fonctionnel correspondant. Cette matrice comprendra un maximum de 90 lignes ( $I = 1, \dots, 90$ ) puisqu'à chaque élément fonctionnel (9) est associé un maximum de 10 lignes (variantes). En pratique cependant, puisque certains éléments ne sont pas utilisés dans certaines variantes, le nombre de lignes sera inférieur à 90. Ainsi, les éléments  $d_{ij}$  de cette matrice sont soit « 0 », lorsque la variante et la composition considérées de l'élément fonctionnel concerné sont incompatibles, soit « 1 » lorsqu'elles sont compatibles, soit « 2 » lorsque la composition considérée est non seulement compatible mais celle habituellement utilisée. Dans ce dernier cas, on dira que la composition en question est la « composition typique » de l'élément fonctionnel concerné. Notons que pour un élément fonctionnel donné, la « composition typique » peut changer d'une variante à l'autre. A défaut d'instructions que l'utilisateur peut imposer au modèle, ce dernier choisira toujours pour une paire donnée, élément fonctionnel-variante, la composition typique, c'est-à-dire celle pour laquelle  $d_{ij} = 2$ .

## 2. L'AGENCEMENT DES CALCULS

Rappelons que l'objectif poursuivi consiste à déterminer les taux des besoins en matériaux de construction induits par un programme de construction donné. Afin de clarifier l'exposé qui suit, la procédure a été découpée en trois étapes ou transformations que nous expliquons ci-dessous.



La première étape consiste à spécifier un programme de construction. Ce programme est spécifié comme taux annuels de construction de chacun des plans-modèles d'édifices. La première transformation transforme ce programme de construction de l'espace des plans-modèles d'édifices dans l'espace des variantes de plans-modèles d'édifices. Ce programme de construction transformé est strictement équivalent au premier : seul l'espace de travail est changé. Puisque la consommation d'éléments fonctionnels est connue pour chacune des variantes de plan-modèle, il s'agit ensuite d'évaluer cette consommation : ce sera l'objet de la seconde transformation.

La troisième et dernière transformation permet de transformer le taux annuel des besoins en éléments fonctionnels en taux annuel des besoins en matériaux de construction. La transformation des besoins en matériaux pour les besoins en matériaux dits « de base » est formellement assimilée à cette troisième transformation. Il s'ensuit une simplification de l'agencement des calculs mais aussi la non-additivité des résultats concernant les matériaux de construction aux résultats concernant les matériaux « de base ».

## 2.1 *Première étape : spécification d'un programme de construction et sa ventilation selon les variantes de plans-modèles*

Dans l'exemple choisi ici la démarche débute nécessairement par la spécification d'un programme de construction. Les calculs principaux commencent toujours par les vecteurs réels  $XTR(I)$ , pour chaque  $T$  et  $R$ . Ces vecteurs ont autant de composantes qu'il y a de plans-modèles.

On a trois façons de spécifier un programme de construction :

- 1) spécification détaillée : on spécifie tous les vecteurs réels  $XTR(I)$ .
- 2) spécification à l'aide de certains vecteurs auxiliaires, dits vecteurs-type, sans option de modification.
- 3) spécification à l'aide de vecteurs-type, avec option de modification.

Les deux dernières façons de spécifier un programme de construction méritent quelques mots d'explication.

Les « vecteurs-type »,  $VTT(I)$ , dont il est question donnent la ventilation, pour chaque période ( $T = 1, 2$ ), du programme de construction entre les différentes régions ( $R = 1, 2$ ). Il suffit donc de spécifier, pour chaque  $T$ , le vecteur :

$$XT(I) = \sum_R XTR(I).$$

Dans l'exemple qui nous concerne, on peut se donner un programme de construction non ventilé selon les régions :

X1(I)	X2(I)
10	25
30	60
5	5
12	15

Quant aux vecteurs-type VTT(I), ils sont stockés en permanence dans la mémoire ; par exemple :

VT1(I)	VT2(I)
.3	.4
.7	.6

L'ordinateur calculera les XTR(I) correspondants comme suit :

X11(I) = X1(I) * VT1(1)	X21(I) = X2(I) * VT2(1)	X12(I) = X1(I) * VT1(2)	X22(I) = X2(I) * VT2(2)
3.0	10.0	7.0	15.0
9.0	24.0	21.0	36.0
1.5	2.4	3.5	3.6
3.6	6.0	8.4	9.0

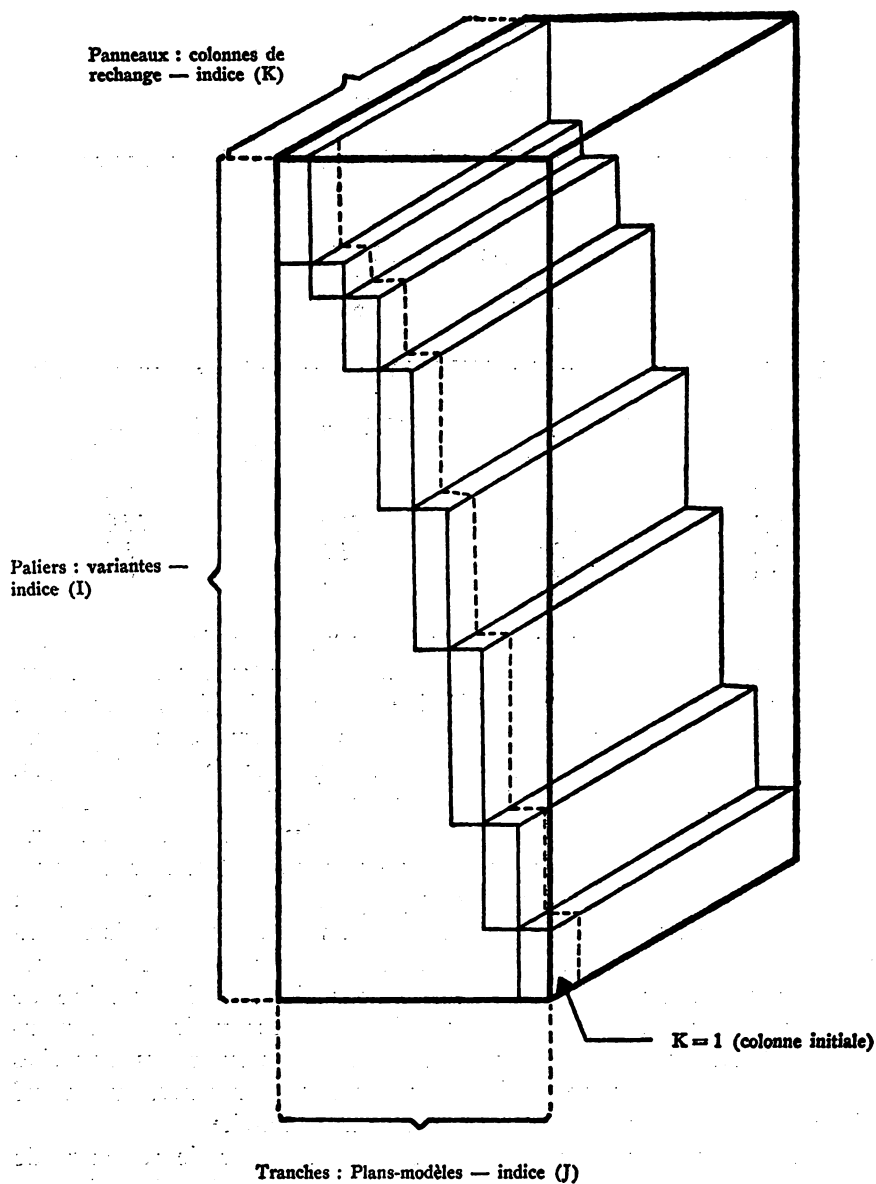
Ces vecteurs apparaissent comme le « programme de construction » sur les feuilles de sortie de l'ordinateur reproduites sur les dernières pages de cette Annexe. Il est préférable de les garder dans la mémoire jusqu'au calcul des vecteurs ZTR(I) : ces derniers vecteurs peuvent au fur et à mesure prendre l'espace occupé par les vecteurs XTR(I).

Une fois les vecteurs XTR(I) lus ou calculés, on procède à la ventilation selon les variantes des plans-modèles. C'est ici qu'on peut exercer les « grandes options techniques » en modifiant cette ventilation. A cette fin, il faut stocker une grande quantité de renseignements, à savoir les diverses ventilations selon lesquelles les structures d'un plan-modèle donné peuvent se répartir entre les diverses variantes et cela possiblement d'une manière différente pour chacune. Le nombre de ces ventilations n'est pas donné à priori, et peut varier d'un plan-modèle à l'autre. De plus, on peut facilement ajouter des nouvelles ventilations, le mode de stockage des données concernées ayant été choisi en partie pour faciliter ce genre de démarche.

On distingue les colonnes initiales et les colonnes de rechange de la matrice A(I,J,K). Une colonne initiale donne la répartition la plus fréquente du plan-modèle en question parmi ses variantes.

La matrice A(I,J,K), avec ses colonnes de rechange, est stockée comme un seul vecteur en mode réel, A(I). On y stocke seulement

FIGURE 1  
MATRICE  $A(I, J, K)$



les éléments qui ne sont pas à priori nuls. On épargne ainsi beaucoup d'espace, puisque la matrice  $A(I,J,K)$  est bloc-diagonale. Cette matrice est présentée à la figure 1.

On stocke également une matrice en mode entier qui sert de catalogue des colonnes de  $A(I,J,K)$  : la matrice  $IA(I,J)$ . Elle a toujours 5 colonnes non seulement dans cet exemple réduit mais dans toute autre application du modèle et autant de lignes qu'il y a de colonnes de  $A(I,J,K)$ , y compris les colonnes de rechange.

IA(I,J)					Chaque ligne de $IA(I,J)$ correspond à une colonne de $A(I,J,K)$ .
2	01	1	01	2	— Premier élément : indice de la ligne de $IA$ ; l'indice de la première ligne est 2 et les autres suivent dans l'ordre naturel *.
3	01	2	01	2	— Deuxième élément : numéro du plan-modèle. C'est l'indice $J$ de la colonne correspondante dans $A(I,J,K)$ .
4	01	3	01	2	— Troisième élément : numéro de la colonne : c'est l'indice $K$ de la colonne correspondante dans $A(I,J,K)$ . Le chiffre 1 désigne toujours la colonne initiale.
5	02	1	03	5	— Quatrième élément : la position du premier élément qui ne soit pas nul à priori dans cette colonne de $A(I,J,K)$ .
6	02	2	03	5	— Cinquième élément : de nombre d'éléments qui ne sont pas nuls à priori dans cette colonne de $A(I,J,K)$ .
7	03	1	08	1	
8	04	1	09	2	
9	04	2	09	2	
10	04	3	09	2	
11	04	4	09	2	
12	01	4	01	2	

Le vecteur réel  $A(I)$  contient les éléments qui ne sont pas à priori nuls dans  $A(I,J,K)$ . Les segments successifs du vecteur  $A(I)$  sont les colonnes de  $A(I,J,K)$ , chacune étant précédée de la ligne correspondante du catalogue  $IA(I,J)$ .

Pour construire la matrice initiale, l'ordinateur cherche dans les éléments égaux à 1 dans la troisième colonne de  $IA(I,J)$  et repère, dans le vecteur  $A(1)$ , le segment correspondant.

\* La raison pour laquelle le numérotage des lignes de  $IA(I,J)$  débute avec 2 et non pas avec 1 est que certains éléments du vecteur  $A(I)$  désignant les proportions sont, dans les extrêmes, égaux à 1.0 et il serait gênant que les éléments de ce vecteur qui désignent les premiers éléments-repères des segments de  $A(I)$  aient les mêmes valeurs que ces éléments désignant les proportions.

A(I)	A(I,J,1) : matrice initiale
2.0	0.5
.5	0.5
.5	0.2
3.0	0.3
.4	0.2
.6	0.1
4.0	0.2
.7	1.0
.3	0.4
5.0	0.6

La matrice  $A(I,J,K)$  n'intervient pas dans les calculs proprement dits. Elle est plutôt la matrice-mère à partir de laquelle sont mises en place les matrices  $ART(I,J)$ . Ce sont les cartes-paramètres MODA qui commandent la mise en place des matrices  $ATR(I,J)$  chaque fois qu'on ne veut pas se servir de colonnes initiales et exercer des « grandes options techniques » pour chaque période et pour chaque région.

En l'absence de cartes-paramètres MODA, on a, pour tout T et tout R,  $ATR(I,J) = A(I,J,1)$ , c'est-à-dire que c'est la matrice initiale qui est mise en place. Chaque carte MODA commande, pour un couple (T,R) donné, le remplacement d'une colonne (ou d'un groupe de colonnes consécutives) par la Kième colonne de rechange correspondante de  $A(I,J,K)$ .

Ainsi, on aurait pu introduire les cartes MODA suivantes :

MODA 1,1,1,1/2
MODA 1,2,2,2/2
MODA 1,2,4,4/4
MODA 2,1,4,4/4
MODA 2,2,1,1/4

et obtenir, à partir du catalogue IA et du vecteur A, les matrices  $ATR(I,J)$  suivantes :

A11(I,J)	A21(I,J)	A12(I,J)	A22(I,J)
.4	.5	.5	.2
.6	.5	.5	.8
.2	.2	.4	.2
.3	.3	.4	.3
.2	.2	.2	.2
.1	.1	.0	.1
.2	.2	.0	.2
1.0	1.0	1.0	1.0
.4	.0	.0	.4
.6	1.0	1.0	.6

Il est à noter toutefois qu'il n'y a jamais plus d'une seule matrice  $ATR(I,J)$  dans la mémoire.

Signalons que dans l'exemple retenu, la matrice initiale est utilisée pour toutes les régions et toutes les périodes :  $ATR(I,J) = A(I,J,1)$ , pour toute paire  $T,R$ .

Le modèle est maintenant en mesure de ventiler les plans-modèles en variantes de plans-modèles, c'est-à-dire, calculer les vecteurs :  $XVTR(1) = ATR(I,J) * XTR(J)$ .

Dans l'exemple considéré, on aura, en utilisant la matrice initiale et les vecteurs  $XTR(I)$ ,

XV11(I)	XV12(I)	XV21(I)	XV22(I)
1.5	3.5	5	7.5
1.5	3.5	5	7.5
1.8	4.2	4.8	7.2
2.7	6.3	7.2	10.8
1.8	4.2	4.8	7.2
0.9	2.1	2.4	3.6
1.8	4.2	4.8	7.2
1.5	3.5	2.4	3.6
1.44	3.36	2.4	3.6
2.16	5.04	3.6	5.4

Cependant, il est à noter que, comme il a été dit plus haut, il n'y a jamais plus d'une seule matrice  $ATR(I,J)$  en mémoire. Ainsi, on calcule les vecteurs  $XVTR(I)$  un à la fois : la matrice  $ATR(I,J)$ , qui n'a plus aucune utilité, est détruite.

## 2.2 Deuxième étape : calcul des besoins en éléments fonctionnels

Cette seconde transformation se fait à l'aide de la matrice  $B(I,J)$ , stockée en mémoire centrale. Cette matrice est une matrice réelle, qui est la même pour tout  $T$  et tout  $R$ . Elle convertit les vecteurs des variantes de plans-modèles en vecteurs d'éléments fonctionnels, c'est-à-dire calcule les besoins en éléments fonctionnels découlant d'un programme de construction déjà ventilé selon les variantes de plans-modèles.

Dans l'exemple présent, on a utilisé la matrice suivante :

MATRICE B(I,J)									
VARIANTES									
1.	100	80		200	100	40	10	15	10
2.			100		100				10
3.						10	2		2
4.	1	1	1			1			
5.				5	10				2
6.	1	3	9		1	100			90
7.		2		20				30	7
8.	10	1	100			7		22	
9.				10			100		15
									35

On calcule les vecteurs UTR(I) de la façon suivante :

$$UTR(I) = \sum_j B(I,J) * XVTR(J).$$

Ces vecteurs prennent au fur et à mesure les espaces occupés en mémoire par les vecteurs XVTR(I), quoiqu'ils ne soient pas de même longueur. A cet égard, l'exemple n'est pas typique, puisqu'en général, il y a plus d'éléments fonctionnels que de variantes.

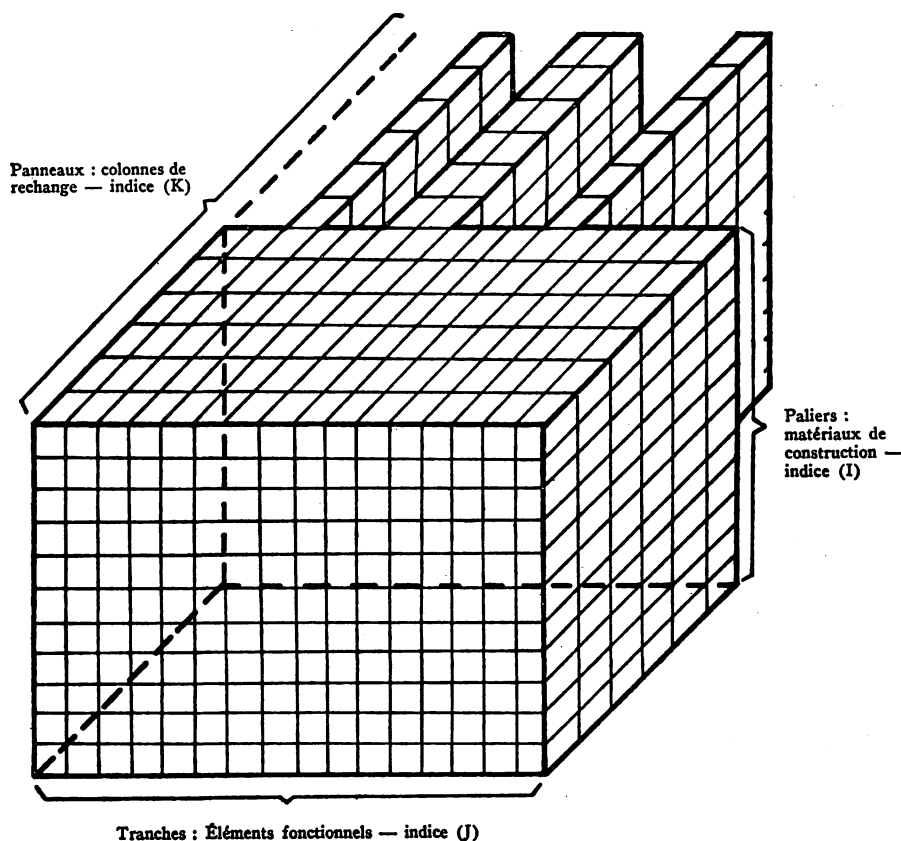
### 2.3 Troisième étape : calcul des besoins en matériaux de construction

Cette troisième transformation se fait à l'aide de coefficients, contenus dans la matrice C(I,J,K), et qui expriment les compositions en matériaux de chacun des éléments fonctionnels. Or, comme un élément fonctionnel peut être mis en œuvre à partir de différents procédés, la plupart des éléments peuvent avoir plusieurs compositions différentes de matériaux : c'est donc lors de cette transformation qu'interviennent les « petites options techniques ». C'est également au cours de cette transformation qu'entre en jeu la matrice D(I,J). Les matrices C(I,J,K) et D(I,J) sont présentées aux figures 2 et 3.

La matrice C(I,J,K) est stockée comme une matrice réelle à trois dimensions. L'indice I désigne un palier, et correspond à un élément fonctionnel. L'indice K désigne un panneau et sert de repère à différentes compositions possibles d'un élément donné (colonnes de rechange).

Il est à noter que, parmi les « matériaux de construction », on peut inclure, non seulement des matériaux de construction (y compris des matériaux dits « de base »), mais aussi des indicateurs de certaines caractéristiques des éléments fonctionnels. On peut ensuite exercer les « petites options techniques » de façon à maximiser ou minimiser la valeur de ces indicateurs : par exemple, coût en devises étrangères de

FIGURE 2  
MATRICE  $C(I,J,K)$



chacune des compositions possibles de chacun des éléments, utilisation d'équipements rares, emploi de la main-d'œuvre sur le chantier, etc.

Les « colonnes initiales » sont celles qui donnent, pour chaque élément fonctionnel, sa composition la plus courante. On distingue donc les colonnes initiales et les colonnes de rechange. Lorsqu'une composition d'un élément n'est jamais utilisée lors d'un emploi donné du modèle, elle est initialisée à  $-1$  et elle n'intervient jamais dans les calculs.

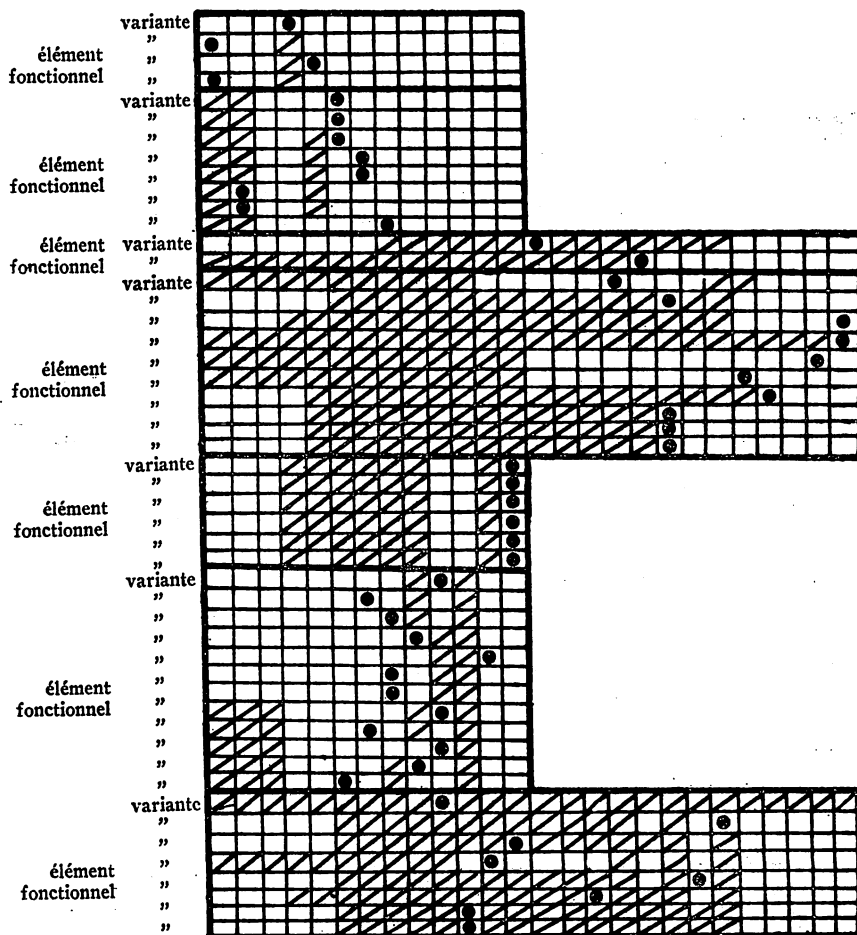
Il est à noter que, dans une utilisation réelle du modèle, une grande partie des éléments fonctionnels ont un nombre de compositions possibles beaucoup plus restreint que le nombre maximum que permet la version actuelle du programme, c'est-à-dire 26. Pour économiser l'espace dans la mémoire de l'ordinateur, on divise alors les éléments fonctionnels en deux groupes : dans l'exemple qui nous concerne, le premier groupe



FIGURE 3

MATRICE  $D(I, J)$ 

compositions



☐ Incompatible (0)

☒ Compatible (1)

☒ Typique (2)

N.B. Les variantes des plans-modèles sont numérotées consécutivement ici ; la notion du plan-modèle ne joue plus ici aucun rôle.

comprend tous les éléments fonctionnels ayant 4 compositions possibles ou moins, soit les éléments 1, 4, 6, 7 et 8. Le second groupe comprend ceux qui possèdent 5 compositions ou plus, c'est-à-dire les éléments 2, 3, 5, 9.

On remarquera enfin que le programme permet, à chaque utilisation, de supprimer une colonne de rechange ou de la remplacer par une autre (carte-paramètre SUPC).

La matrice  $C(I,J,K)$ , à l'instar de la matrice  $A(I,J,K)$ , n'intervient pas dans les calculs proprement dits. Elle est plutôt matrice-mère à partir de laquelle sont construites les matrices  $CTR(I,J)$ .

Les tableaux 1 et 2 représentent le contenu des matrices  $C(I,J,K)$  et  $D(I,J)$  utilisées dans l'exemple réduit. On notera que pour les éléments fonctionnels (2, 4, 5, 6, 7, 8), la composition typique, c'est-à-dire la plus souvent employée, est toujours la même quelle que soit la variante de plan-modèle dans laquelle ces éléments sont utilisés. De plus, les compositions de ces éléments sont compatibles avec toutes les variantes. On peut exercer les « petites options techniques » en employant les cartes MODC, MODCT, MODCR et MODCTR dont il est question en détail plus loin. En l'absence de ces cartes, les compositions en matériaux de ces éléments seraient toujours celles représentées par les colonnes (9, 18, 23, 27, 31, 35) de la matrice  $C(I,J,K)$ . Par contre, les compositions typiques pour les éléments fonctionnels (1, 3, 9) dépendent de la variante considérée. On dira alors que ces éléments fonctionnels sont sujets à des incompatibilités. Comme nous le verrons maintenant, la prise en compte de ces incompatibilités joue un rôle très important au niveau de la troisième transformation.

Ces incompatibilités sont enregistrées dans la matrice  $D(I,J)$  du tableau 2. Cette matrice est la même pour toutes les périodes et toutes les régions.

Afin d'illustrer le mécanisme des calculs dans le cas de l'exemple réduit présenté ici, qui, on s'en souviendra, n'utilise pas les « petites options techniques », on établit des besoins pour le matériau 4 pendant la première période et dans la première région ( $T = 1, R = 1$ ).

On calcule en premier lieu le vecteur  $VII(I)$  dont les composantes représentent les besoins en éléments fonctionnels pendant la première période et dans la première région (tableau 3).

Pour les éléments fonctionnels (2, 4, 5, 6, 7, 8), la procédure est relativement simple puisque ces éléments ne sont pas sujets aux incompatibilités. Pour ces éléments, il suffit de choisir dans la matrice  $C(I,J,K)$ , la quatrième composante des vecteurs (9, 18, 23, 27, 31, 35) soit les coefficients (13, 12, 22, 15, 12, 15). On procède ensuite à la multiplication vectorielle de ces coefficients avec les composantes cor-

TABLEAU 1 : MATRICE C(I,J,K)

No Colonne		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
Composition typique		selon variante *				toutes variantes ↓					selon variante *					toutes variantes ↓				toutes variantes ↓				
Composition K		1	2	3	4	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	1	2	3	4	5
Matériaux 1	1	11	-1	17	10	-1	20	21	11	10	0	-1	7	8	9	10	-1	23	7	7	19	20	20	10
	2	20	-1	21	15	-1	30	31	20	11	5	-1	12	13	17	20	-1	31	8	6	21	22	21	15
	3	30	-1	3	7	-1	27	27	21	12	2	-1	16	17	26	40	-1	23	10	5	31	27	23	17
	4	40	-1	40	0	-1	50	43	30	13	21	-1	20	19	32	30	-1	27	12	4	42	4	27	22
	5	50	-1	50	50	-1	60	51	31	14	37	-1	24	24	21	10	-1	10	16	12	13	13	32	31
Elém. Fonct. J		1				2					3					4				5				

No Colonne		24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40						
Composition typique		toutes variantes ↓				toutes variantes ↓				toutes variantes ↓				selon variante *										
Composition K		1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	5						
Matériaux 1	1	3	3	7	5	5	6	7	7	-1	10	20	12	10	25	18	8	21						
	2	4	5	8	9	9	4	10	10	-1	15	15	18	15	18	13	30	19						
	3	8	1	15	10	10	10	15	15	-1	40	24	35	12	14	10	15	10						
	4	9	20	0	15	12	0	0	12	-1	20	30	15	13	7	0	0	12						
	5	15	40	0	0	20	12	14	13	-1	30	30	20	20	40	40	40	0						
Elém. Fonct. J		6				7				8				9										

\* Voir Tableau 2.

TABLEAU 2  
MATRICE D(I,J)

Comp.	1	2	3	4	5	
Var.						
1	0	0	2	0		} Elément fonct. 1
2	1	0	2	1		
4	1	0	0	2		
5	1	0	2	1		
6	0	0	0	2		
7	0	0	2	0		
8	2	0	1	1		
9	0	0	2	1		
6	0	0	2	1	0	} Elément fonct. 3
7	0	0	0	1	2	
9	0	0	0	0	2	
4	1	1	0	0	2	} Elément fonct. 9
7	0	2	0	1	0	
9	1	0	2	1	1	

N.B. Dans le tableau 2, les variantes sont identifiées à l'aide d'un numérotage consécutif et non pas lié aux plans-modèles concernés, ainsi l'Elément fonctionnel 3 apparaît dans les variantes 6, 7 et 9 sans qu'il soit nécessaire de savoir de quels plans-modèles il s'agit ; on se souviendra que, dans cet exemple réduit, un élément fonctionnel ne peut avoir au plus que cinq compositions différentes.

TABLEAU 3

BESOINS EN ÉLÉMENTS FONCTIONNELS  
(T = 1, R = 1)

1	1,080.90
2	381.60
3	15.48
4	6.60
5	35.82
6	312.72
7	112.08
8	311.40
9	228.60

respondantes du vecteur des besoins en éléments fonctionnels pour les éléments fonctionnels concernés, soit :

$$(13,12,22,15,12,15) \begin{bmatrix} 381.60 \\ 6.60 \\ 35.82 \\ 312.72 \\ 112.08 \\ 311.40 \end{bmatrix} = 16,534.8$$

Cette quantité représente les besoins en matériau 4 pour la mise en œuvre des éléments fonctionnels (2, 4, 5, 6, 7, 8) dans les quantités requises pendant la première période dans la première région. Il reste donc à évaluer les besoins en matériau 4 pour les éléments (1, 3, 9). Ici la procédure est un peu plus complexe puisque ces éléments sont sujets à des incompatibilités. Par exemple, on peut voir au tableau 2 que la composition typique de l'élément fonctionnel 3, lorsqu'elle est utilisée dans la variante 6 est la 3e composition alors que dans la variante 7, la composition typique est 5.

Le tableau 4 contient, pour chacun des éléments fonctionnels (1, 3, 9) le numéro de la colonne de C(I,J,K) qui sera mise en place lors du calcul de la demande de matériaux. Comme on peut le constater, les colonnes de C(I,J,K) qui seront utilisées dépendent de la variante du plan-modèle considéré. Comme on ne s'intéresse qu'au matériau 4, on a également inclus dans ce tableau, les consommations du matériau 4 qui correspondent aux colonnes choisies.

TABLEAU 4

Variante	No de colonne de C(I,J,K)	Coefficient matériau 4	Élément fonctionnel
1	3	40	1
2	3	40	1
4	4	0	1
5	3	40	1
6	4	0	1
7	3	40	1
8	1	40	1
9	3	40	1
6	12	20	3
7	14	32	3
9	14	32	3
4	40	12	9
7	37	7	9
9	38	0	9

Avant de procéder aux calculs des besoins en matériau 4 pour les éléments fonctionnels (1, 3, 9), il faut calculer la part des besoins de ces éléments allant dans chacune des variantes. En pratique, ces calculs sont faits en parallèle avec ceux de la seconde transformation. Il s'agit en fait de conserver dans un vecteur de « résultats intermédiaires », chacun des termes de la somme suivante :

$$\sum_j B(I,J) * XVTR(J)$$

Pour les éléments fonctionnels (1, 3, 9) la ventilation de cette somme apparaît dans le tableau 5.

A la ligne « Total », on retrouve les besoins totaux pour les éléments (1, 3, 9), valeurs qu'on retrouve également au tableau 3. On est maintenant en mesure de calculer les besoins en matériau 4 induits par les éléments fonctionnels (1, 3, 9). Il suffit de multiplier les entrées du tableau 5 par les coefficients de consommation du matériau 4 contenus au tableau 4. On obtient finalement 22,167.46. En ajoutant à cette demande celle obtenue précédemment, soit 16,534.8, on arrive à la demande totale du matériau 4 induite par le programme de construction initial, soit 38,702.16, ce qui correspond bien à la valeur calculée par le modèle pour la première région et la première période. Le modèle procède ainsi pour chaque matériau, chaque période et chaque région.

Le mécanisme des calculs qui vient d'être décrit s'applique aux simulations ne faisant pas intervenir les « petites options techniques ». Lorsque l'utilisateur veut soit maximiser, soit minimiser l'emploi d'un matériau particulier, il utilise ce qu'on a appelé précédemment les cartes-

TABLEAU 5

Variantes	Eléments fonctionnels		
	1	3	9
1	150.0	0	0
2	120.0	0	0
3	0.0	0	0
4	540.0	0	27.0
5	180.0	0	0
6	36.0	9.0	0
7	18.0	3.6	180.0
8	22.5	2.88	0
9	14.4	0	21.6
10	0	0	0
Total	1,080.90	15.48	228.60

paramètres MODC, MODCT, MODCR ou MODCTR. L'utilisation de cette option n'affecte que très légèrement la logique du mécanisme décrit précédemment. La section suivante traite de cette question.

#### 2.4 *Les petites options techniques*

Exercer les « petites options techniques » dans la mise en place des matrices CTR(I,J) veut dire choisir, pour chacun des éléments fonctionnels, la colonne de rechange qui maximisera ou minimisera l'utilisation de l'un des matériaux de construction, compte tenu des restrictions que peuvent imposer les incompatibilités. La prise en compte de ces incompatibilités peut évidemment conduire à choisir une combinaison linéaire convexe de colonnes de rechange. Le matériau de construction dont on maximise ou minimise l'utilisation est le même pour tous les éléments fonctionnels, mais pas nécessairement pour toutes les périodes et toutes les régions. Ce sont les cartes-paramètres MODC, MODCT, MODCR et MODCTR qui commandent le choix des colonnes de rechange qui maximisent ou minimisent l'utilisation d'un matériau donné :

- la carte MODC s'applique à toutes les périodes et à toutes les régions ; il peut donc n'y avoir qu'une seule carte MODC ;
- les cartes MODCT s'appliquent à une période, mais à toutes les régions ; il peut donc y avoir autant de cartes MODCT qu'il y a de périodes ;
- les cartes MODCR s'appliquent à une région, mais à toutes les périodes ; il peut donc y avoir autant de cartes MODCR qu'il y a de régions ;
- les cartes MODCTR s'appliquent à une période et à une région ; il peut donc y avoir autant de cartes MODCTR qu'il y a de couples période-région.

L'emploi de ces cartes-paramètres est soumis à certaines règles simples, afin d'éviter les instructions contradictoires :

- il ne peut pas y avoir à la fois une ou plusieurs cartes MODCT et une ou plusieurs cartes MODCR ;
- les cartes MODC, MODCT ou MODCR, et MODCTR doivent être lues dans cet ordre, c'est-à-dire du « général » au « particulier » car l'ordre hiérarchique qui existe entre ces instructions fait prévaloir les instructions « particulières » contre les instructions plus « générales » lues précédemment.

Pour fixer les idées, on supposera que l'utilisateur veut minimiser l'emploi du matériau I, pour toutes les périodes et toutes les régions. Dans ce cas, il introduit la carte suivante :

MODC MIN \* I

Ce n'est qu'au niveau de la troisième transformation que cette carte sera prise en compte. En premier lieu, on se souviendra qu'à chaque élément fonctionnel correspond une tranche de la matrice  $C(I,J,K)$ . Cette tranche contient toutes les compositions possibles de l'élément fonctionnel concerné alors que le niveau I de cette tranche contient les coefficients de consommation du matériau I pour chacune de ces compositions.

Pour un élément fonctionnel donné, soit J cet élément, le modèle considère la tranche J de la matrice  $C(I,J,K)$ . Il effectue un tri des compositions selon l'information contenue dans la carte MODC. Dans le cas présent, il ordonne les compositions possibles de l'élément fonctionnel J en fonction de leur contenu en matériau I. Puisqu'il s'agit ici d'une minimisation, les compositions seront triées en ordre croissant de leur contenu en matériau I. Une fois triées, les compositions sont groupées en blocs ; chacun de ces blocs contient l'ensemble des compositions qui utilisent la même quantité du matériau I. De plus, si à l'intérieur d'un bloc, la composition typique de l'élément apparaît, elle est placée au début du bloc. La figure 4 illustre ce procédé (p. 52).

A partir de ce moment, le choix des colonnes de la matrice  $C(I,J,K)$  se fait normalement : le modèle choisit la première composition dont le contenu en matériau I est minimum. Il vérifie que cette composition est compatible avec la variante considérée. Si elle l'est, il multiplie la quantité de l'élément fonctionnel J qui entre dans cette variante, par la colonne correspondante de  $C(I,J,K)$ . On se souviendra que cette quantité est contenue dans le vecteur des « résultats intermédiaires » dont nous avons parlé à la section 3. Les résultats sont ensuite cumulés et le modèle passe à la prochaine variante. La procédure est la même pour tous les éléments fonctionnels.

Les résultats obtenus pour l'exemple réduit apparaissent aux pages 53 et 54. Les vecteurs « X » représentent le programme de construction spécifié, les vecteurs « U » et « Z », les demandes en éléments fonctionnels et en matériaux de construction qui en découlent.

## EXEMPLE RÉDUIT

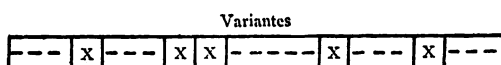
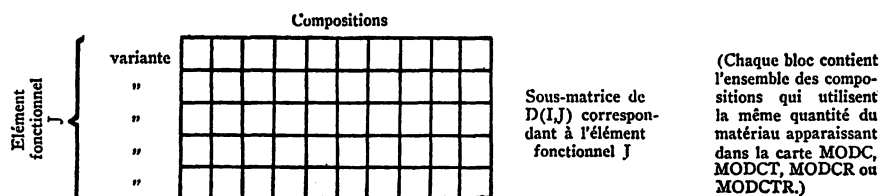
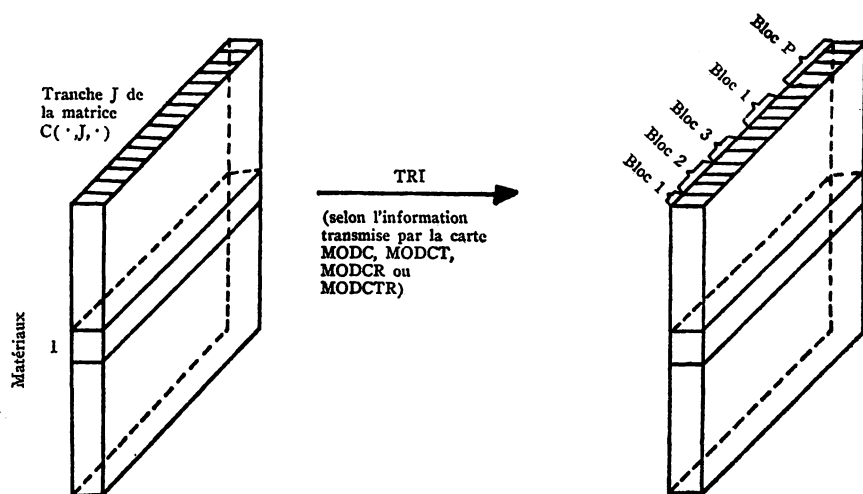
## PROGRAMME DE CONSTRUCTION

				1e période :		
				1e région	2e région	Total
X( 1)	plan-modèle 1			3.00	7.00	10.00
X( 2)	plan-modèle 2			9.00	21.00	30.00
X( 3)	plan-modèle 3			1.50	3.50	5.00
X( 4)	plan-modèle 4			3.60	8.40	12.00



FIGURE 4

PRISE EN COMPTE DES INCOMPATIBILITÉS ET DES COMPOSITIONS TYPIQUES  
AU NIVEAU DES « PETITES OPTIONS TECHNIQUES »



X : élément non nul du vecteur de résultats  
intermédiaires  $B(J, I) \cdot XVTR(I)$

## EXEMPLE RÉDUIT

## PROGRAMME DE CONSTRUCTION

			2e période :		
			1e région	2e région	Total
X( 1)	plan-modèle 1		10.00	15.00	25.00
X( 2)	plan-modèle 2		24.00	36.00	60.00
X( 3)	plan-modèle 3		2.40	3.60	6.00
X( 4)	plan-modèle 4		6.00	9.00	15.00

## EXEMPLE RÉDUIT

## BESOINS EN ÉLÉMENTS FONCTIONNELS

			1e période :		
			1e région	2e région	Total
U( 1)	élément fonctionnel 1		1080.90	2522.10	3603.00
U( 2)	élément fonctionnel 2		381.60	890.40	1272.00
U( 3)	élément fonctionnel 3		15.48	36.12	51.00
U( 4)	élément fonctionnel 4		6.60	15.40	22.00
U( 5)	élément fonctionnel 5		35.82	83.58	119.40
U( 6)	élément fonctionnel 6		312.72	729.68	1042.40
U( 7)	élément fonctionnel 7		112.08	261.52	373.60
U( 8)	élément fonctionnel 8		311.40	726.60	1038.00
U( 9)	élément fonctionnel 9		228.60	533.40	762.00

## EXEMPLE RÉDUIT

## BESOINS EN ÉLÉMENTS FONCTIONNELS

			2e période :		
			1e région	2e région	Total
U( 1)	élément fonctionnel 1		3024.00	4535.98	7559.98
U( 2)	élément fonctionnel 2		996.00	1494.00	2490.00
U( 3)	élément fonctionnel 3		38.40	57.60	96.00
U( 4)	élément fonctionnel 4		19.60	29.40	49.00
U( 5)	élément fonctionnel 5		91.20	136.80	228.00
U( 6)	élément fonctionnel 6		639.20	958.80	1598.00
U( 7)	élément fonctionnel 7		242.80	364.20	607.00
U( 8)	élément fonctionnel 8		730.60	1095.90	1826.50
U( 9)	élément fonctionnel 9		588.00	882.00	1470.00

		EXEMPLE RÉDUIT BESOINS EN MATÉRIAUX DE CONSTRUCTION		
		1e période :		
		1e région	2e région	Total
Z( 1)	matériau 1	30,090.73	70,211.69	100,302.38
Z( 2)	matériau 2	37,800.48	88,201.00	126,001.44
Z( 3)	matériau 3	30,434.15	71,013.00	101,447.13
Z( 4)	matériau 4	38,702.11	90,304.69	129,006.75
Z( 5)	matériau 5	76,704.31	178,976.50	255,680.81

		EXEMPLE RÉDUIT BESOINS EN MATÉRIAUX DE CONSTRUCTION		
		2e période :		
		1e région	2e région	Total
Z( 1)	matériau 1	79,569.38	119,353.75	198,923.13
Z( 2)	matériau 2	99,072.63	148,608.94	247,681.56
Z( 3)	matériau 3	74,049.50	111,074.38	185,123.88
Z( 4)	matériau 4	103,334.50	155,001.69	258,336.19
Z( 5)	matériau 5	207,570.75	311,356.56	518,927.31

## BIBLIOGRAPHIE

- [1] W.W. LEONTIEF, *The Structure of the American Economy, 1919-1939*, Oxford University Press, New York, 1953.
- [2] BUREAU DE LA STATISTIQUE DU QUÉBEC ET LABORATOIRE D'ÉCONOMÉTRIE, UNIVERSITÉ LAVAL, *Le système de comptabilité économique du Québec*, Vol. I : *Le système et son fonctionnement*, Québec, 1967.
- [3] *Planification du secteur de la construction en Algérie*, Rapport supplémentaire : Modèle de la simulation de la demande pour les matériaux de construction. Préparé pour la SONATRACH, Sorès Inc., Montréal, novembre 1970. (Circulation restreinte).
- [4] BUREAU DE LA STATISTIQUE DU QUÉBEC ET LABORATOIRE D'ÉCONOMÉTRIE, UNIVERSITÉ LAVAL, *Le système de comptabilité économique du Québec*, Vol. III : *Les utilisations*, Québec, 1970.
- [5] *Planification du secteur de la construction en Algérie*, Rapport no 9, rapport de synthèse. Préparé pour la SONATRACH, Sorès Inc., Montréal, février 1971. (Circulation restreinte).

- [6] *Plan Definitivo de Trabajo Para Estudio Integral de la Industria de Materiales de Construcción en Bolivia*. Sociedad de Ingenieros Consultores (SICO), La Paz, Noviembre de 1971.
- [7] *Rapport de la première étape. Etude de l'industrie des matériaux de construction en Bolivie*. Préparé pour le Ministère de l'urbanisme et de l'habitation (Bolivie), Sorès Inc., Montréal, mai 1972. (Circulation restreinte).
- [8] I. BERGERON et T. MATUSZEWSKI, *Une approche formalisée au développement de l'industrie des matériaux de construction en Algérie*. Communication lue devant le Congrès de l'Association canadienne d'économique à Montréal, juin 1972.
- [9] I. BERGERON et T. MATUSZEWSKI, *A Formalized Approach to the Development of the Construction Materials Industry in Algeria*. Read before the Annual Meeting of the Canadian Economic Association in Montreal, June 1972 (abridged English version of the preceding).
- [10] MATUSZEWSKI, T., *Partly Disaggregated Rectangular Input-Output Models and their Use for the Purpose of a large Corporation*, in A.P. Carter and A. Brody (editors), *Input-Output Techniques*, North-Holland, 1972.
- [11] *Estudio Integral de la Industria de Materiales de Construcción en Bolivia, Tomo V, Descripción del modelo*, Republica de Bolivia, Ministerio de Urbanismo y Vivienda et Sociedad de Ingenieros Consultores (SICO), La Paz, 1972/73.
- [12] *Etude technico-économique du Secteur des Tubes et Tuyaux en Algérie*. Rapport préparé pour l'Organisation des Nations-Unies pour le Développement Industriel, Sorès Inc., Montréal, août 1973 (circulation restreinte).
- [13] BUREAU DE LA STATISTIQUE DU QUÉBEC ET LABORATOIRE D'ÉCONOMÉTRIE, UNIVERSITÉ LAVAL, *Le système de comptabilité économique du Québec*, Vol. IV : *Analyses intersectorielles de l'économie du Québec*, Québec, mai 1974.
- [14] SORÈS INC., *Manuel d'utilisation du modèle de simulation de la demande des matériaux de construction en Algérie*, Rapport préparé pour la SONATRACH, septembre 1974 (circulation restreinte).